



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Eetu-Pekka Teräs

# 3D-KOORDINAATTI- MITTAUSKONEEN HANKINTA

Tekniikka  
2020

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Eetu-Pekka Teräs
Opinnäytetyön nimi	3D-Koordinaattimittauskoneen hankinta
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	44 + 1 liite
Ohjaaja	Pertti Lindberg

---

Opinnäytetyön aiheena oli 3D-koordinaattimittauskoneen hankinta. Työ tehtiin työnantajalleni Custom Truck Oy:lle. Lähtökohtana opinnäytetyölle oli yrityksen tarve liitoslaippaputkien tarkkaan mittaukseen, sekä mittaustulosten luotettavaan raportointiin.

Opinnäytetyö projektissa perehdyttiin koordinaattimittaukseen ja erilaisiin koordinaattimittauskoneisiin (KMK). Laitteiden vertailun perusteella valittiin hankittava koordinaattimittauskone (KMK). Hankinnan jälkeen tehtiin valmistelut tuotantotiloissa käyttöönottoa varten.

Projekti eteni toivotulla tavalla, yritykselle löydettiin hankinta vaihtoehtoista sen vaatimukset täyttävä koordinaattimittauskone (KMK). RPS EVO-XR 7 -niveლvarsikoordinaattimittauskone (NVKMK) osoittautui parhaiten soveltuvaksi yrityksen käyttöön.

## ABSTRACT

Author	Eetu-Pekka Teräs
Title	Purchase of a 3D Coordinate Measuring Machine
Year	2020
Language	Finnish
Pages	44 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Pertti Lindberg

---

The subject of the Thesis is the purchase of a 3D coordinate measuring machine (CMM). The work was done for my employer, Custom Truck Oy. The starting point for the thesis was the company's need for accurate measurement of flange-welded pipes and reliable reporting of measurement results.

The thesis project included the familiarization to coordinate measuring machines (CMM) and coordinate measuring. Based on familiarization to different device alternatives, selection was made for the coordinate measuring machine (CMM) to be acquired. For the commissioning, preparations were made in the production facilities.

The project proceeded as expected, the company found a suitable coordinate measuring machine (CMM) that meets the requirements among the proposed alternatives. The RPS EVO-XR 7 articulated arm measuring machine (AACMM) was best suited for the company use.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Lähtökohdat opinnäytetyölle .....	8
1.2	Lyhenteet ja määritelmät.....	9
2	CUSTOM TRUCK OY .....	10
3	KOORDINAATTIMITTAUS .....	12
4	KOORDINAATTIMITTAUSKONE.....	14
4.1	Koordinaattimittauskoneen historiaa .....	14
4.2	Yleistä tietoa .....	16
4.2.1	Koskettava mittaus .....	17
4.2.2	Lasermittaus .....	18
4.2.3	Optinen mittaus .....	20
4.2.4	Videomittaus .....	21
5	HANKINTA .....	23
5.1	Koordinaattimittauskonevaihtoehtoja .....	23
5.1.1	GOM Atos 5 .....	23
5.1.2	Metronor solo .....	24
5.1.3	RPS EVO-XR 7 .....	25
5.2	Valinta ja perustelut .....	28
6	KÄYTTÖÖNOTTO .....	29
6.1	Valmistelut tuotantotiloissa .....	29
6.2	Käyttöönottotarkastus .....	31
6.3	RPS EVO-XR 7 -Mittaus.....	33
6.3.1	Mittausohjelma.....	33
6.3.2	Mittaus ja skannaus .....	34
6.3.3	Vertaaminen 3D-malliin.....	37
6.3.4	Tulokset ja raportointi .....	39
7	POHDINTA.....	42

LÄHTEET..... 44

LIIKTEET

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Kolmiulotteisen koordinaattijärjestelmän päätasot: xy, xz ja yz. /4/.....	12
<b>Kuva 2.</b> Piste (x30, y30, z30) suorakulmaisessa kolmiulotteisessa koordinaatistossa. ....	13
<b>Kuva 3.</b> Sip 305M -mittauspenkki. /6/ .....	14
<b>Kuva 4.</b> Kuvassa liikkuva portaalin KMK DEA lota P. /3/.....	15
<b>Kuva 5.</b> Renishaw TP6 kytkevä mittauspää, sekä Renishaw autojoiint kiinteä mittauspää. ....	18
<b>Kuva 6.</b> Cyber Optics XLP 3D -nauhaskanneri NVKMK:ssa. /14/.....	19
<b>Kuva 7.</b> GOM Atos ScanBox Series 6. /8/ .....	21
<b>Kuva 8.</b> Mitutoyo Quickvision Hyper QV-350 -videomittauskone. /9/.....	22
<b>Kuva 9.</b> GOM Atos 5 optinen 3D-koordinaattimittauskone. /10/ .....	24
<b>Kuva 10.</b> Metronor solo. /11/ .....	25
<b>Kuva 11.</b> Renishaw autojoiint -mittauspään vaihtojärjestelmä. /12/.....	26
<b>Kuva 12.</b> RPS EVO-XR 7 -nivevarsikoordinaattimittauskone. /12/.....	27
<b>Kuva 13.</b> Metallinen mittauspöytä, koneistetulla kannella. ....	30
<b>Kuva 14.</b> Lisänäyttö ja mittauspöytä. ....	30
<b>Kuva 15.</b> RPS EVO-XR 7 kuljetussalkussa. ....	31
<b>Kuva 16.</b> Mittauksen valmistelu.....	32
<b>Kuva 17.</b> Kuvakaappaus CAD-mallin mitoituksesta polyworks inspectorilla. ...	34
<b>Kuva 18.</b> Kompensointi reiän ja tason mittauksessa. ....	35
<b>Kuva 19.</b> Skannattu liitoslaippaputki. ....	36
<b>Kuva 20.</b> 3D-mallin ja skannauksen vertaaminen värikartan avulla.....	37
<b>Kuva 21.</b> 3D-malli ja skannattu linjattuna.....	38
<b>Kuva 22.</b> 3D-mallin ja skannauksen linjaus. ....	39
<b>Kuva 23.</b> Kuvakaappaus mittaustuloksista.....	40
<b>Kuva 24.</b> Kuvakaappaus mittaustuloksista.....	41

**LIITELUETTELO****LIITE 1. Mittausraportti**

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Lähtökohdat opinnäytetyölle

Opinnäytetyö tehtiin Custom Truck Oy:lle. Yrityksen päätoimiala on putkentaivutus CNC-ohjelmoitavilla putkentaivutuskoneilla. Putkia taivutetaan pääasiassa teollisuuteen alihankintana. Tämän päivän teollisuuden vaatimukset taivutettujen putkien mittatarkkuudelle ovat melko korkeat, siitä syystä taivutetut putket täytyy myös pystyä mittaamaan tarkasti. Nykyään yhä useammin taivutettuihin putkiin hitsataan myös liitoslaippa, jolloin mittatarkkuuden tärkeys korostuu entisestään.

Yrityksen nykyinen koordinaattimittauskone (Tomelleri arm, NVKMK) soveltuu erinomaisesti pelkkien taivutettujen putkien mittaamiseen. Mutta laippojen asemointia sillä ei kuitenkaan pystytä tarkastamaan, koska koneen mittausohjelma sekä fyysinen haarukkamallinen mittauspää eivät siihen sovellu.

Laippojen asemoinnin tarkastus manuaalisesti on erittäin työlästä ja hankalaa, eikä mittausvarmuus perinteisillä menetelmillä toteutettuna ole riittävällä tasolla. Niinpä yrityksessä päätettiin ratkaista ongelma investoimalla uuteen koordinaattimittauskoneeseen.

Tärkeimpiä vaatimuksia uudelle koordinaattimittauskoneelle oli, että sillä kyetään mittaamaan erilaisten liitoslaipallistenputkien laippojen asemointi tarkasti ja tehokkaasti. Tärkeää oli myös, ettei uusi koordinaattimittauskone, eikä sen ohjelmisto, olisi rajoittunut vain tietynlaisten kappaleiden mittaamiseen. Sillä tulisi pystyä mittaamaan erilaisia kappaleita, mahdollisimman monipuolisesti. Tärkeää oli myös, että koordinaattimittauskoneeseen olisi saatavilla monipuolinen, tehokas ja ajan tasalla oleva mittausohjelmisto.



## 1.2 Lyhenteet ja määritelmät

KMK = Koordinaattimittauskone

NVKMK = Nivelvarsikoordinaattimittauskone

3D = Kolmiulotteinen

3D-digitointi = Menetelmä, jolla saadaan fyysisestä kappaleesta digitaalinen 3D-malli skannaamalla kappaletta

CAD = Tietokoneavusteinen suunnittelu

NC = Numeerisesti ohjelmoitava

CCD-kamera = Kamera, jossa suorakiteen muotoisista pikseleistä koostuva kenno

Alignment = Mitatun ja referenssin linjaus

Best-fit = Mitatun ja referenssin vertaaminen, parhaalla mahdollisella linjauksella

## 2 CUSTOM TRUCK OY

Custom Truck Oy on perustettu Vaasassa vuonna 1991, nimellä Custom Trucks equipment Oy. Yrityksen perustaja on Markku Parkkari, joka aloitti ajoneuvojen karjapuskureiden, kylkiputkien ja lavakaarien valmistuksen. Yritys toimi alkuun muutaman työntekijän voimin Vaasassa laturintiellä. Tuotannon kasvaessa toimitilat jäivät kuitenkin pieneksi, eikä Vaasassa ollut tuolloin tarjolla sopivaa tuotantotilaa. Vähänkyrön kunnalla sattui olemaan tarjolla sopiva tuotantotila jokivar-sinäkyillä, joten tuotanto siirrettiin Vähäänkyröön. Muuton jälkeen yritys investoi CNC-ohjelmoitaviin putkentaivutuskoneisiin, joita yrityksellä on nykyään useita.

Suuri muutos tuotannossa tapahtui, kun EU:n säädökset alkoivat rajoittaa karjapuskureiden valmistusta. Liikenne- ja viestintäministeriö päätti 21. päivänä marraskuuta 2006 ottaa käyttöön asetuksen, jonka mukaan N1-luokan ajoneuvon ja kokonaisuusmassaltaan enintään 3,5 tonnin M1-luokan ajoneuvon etupuskurin täydentäminen tai korvaaminen karjapuskurilla tai muulla etusuojojärjestelmällä on sallittu ainoastaan, jos karjapuskuri tai muu etusuojojärjestelmä on tyyppihyväksytty Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/66/EY mukaisesti.

Onneksi koneet ja laitteet eivät olleet sidoksissa vain ajoneuvojen lisävarusteiden valmistukseen, vaan yritys ryhtyi valmistamaan taivutettuja putkia alihankintana teollisuuden tarpeisiin. Ajoneuvojen lisävarusteiden myynti on jäänyt miltei kokonaan pois ja nykyään yrityksen toiminta keskittyy lähes täysin teollisuuden alihankintaan.

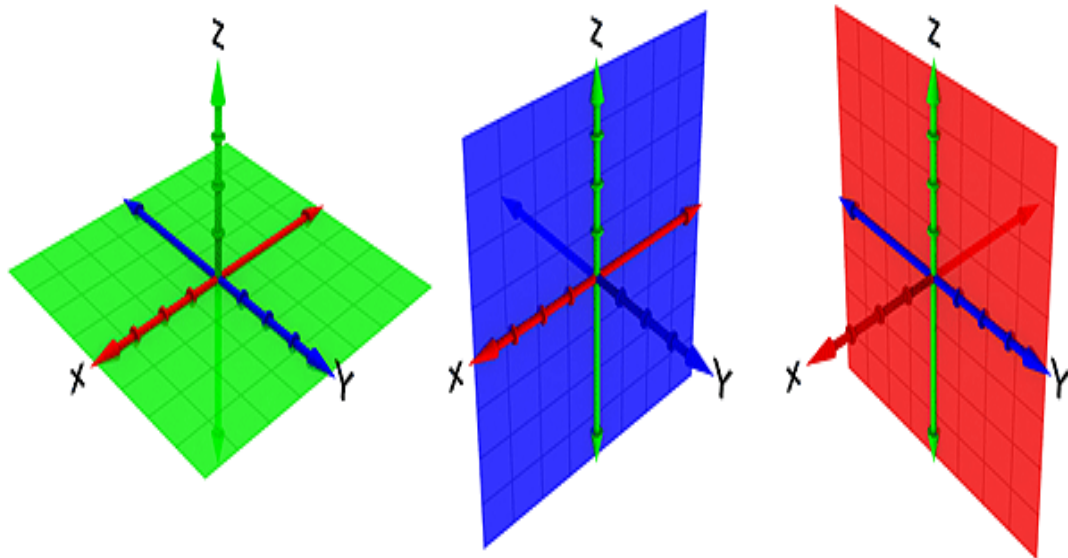
Yrityksen erityisosaamista on CNC-putkentaivutus, hitsaus, sekä erilaiset putki-kokoonpanot ja liitokset. Pienimmät CNC-putkentaivutustyökalut ovat tällä hetkellä 6 mm putkille ja suurimmat 114,3 mm putkille. Teräsputkien lisäksi niillä pystytään taivuttamaan myös alumiini- ja kupariputkia.

Vuonna 2017 yrityksen perustajan jäädessä eläkkeelle, sen kaksi työntekijää, Veli-Pekka Lehtimäki ja Klaus Öрни, ostivat liiketoiminnan, sekä koneet ja laitteet.

Yrityskauppojen yhteydessä nimi muutettiin Custom Trucks equipment Oy:stä, Custom Truck Oy:si. Muutoin toiminta on jatkunut entisellään siitä saakka. /1-2/

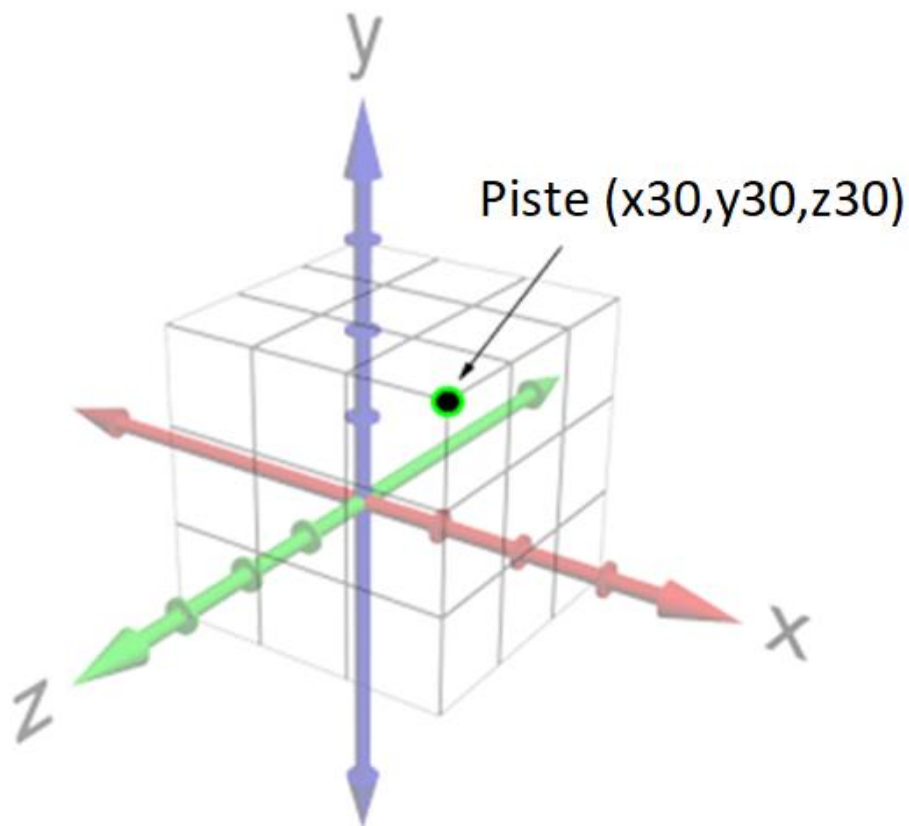
### 3 KOORDINAATTIMITTAUS

Koordinaattimitoituksessa koordinaattijärjestelmää käytetään muun muassa kappaleen geometrisen muodon ja mittasuhteiden määrittämiseen kolmiulotteisessa avaruudessa. Kolmiulotteinen avaruus on tavallisesti määritelty suorakulmaiseksi kolmiulotteiseksi koordinaattijärjestelmäksi. Koordinaatisto koostuu kolmesta akselista:  $x$ -,  $y$ - ja  $z$ . Akselit ovat toisiaan vastaan kohtisuorassa, yleensä oikeakätisesti. Kolmiulotteisen avaruuden keskipiste eli  $x$ -,  $y$ - ja  $z$ -akselien risteämiskohdasta on origo eli piste  $(0,0,0)$ . Avaruudessa olevien pisteiden paikat ilmoitetaan etäisyyksinä origosta kunkin akselin suunnassa. Pisteet voivat sijoittua akselien positiiviselle tai negatiiviselle puolelle (**Kuva 1.**) /3-4/



**Kuva 1.** Kolmiulotteisen koordinaattijärjestelmän päätasot:  $xy$ ,  $xz$  ja  $yz$ . /4/

Kolmiulotteiselle koordinaatistolle on annettu myös mittayksikkö, joten jokaisen pisteen koordinaatit kertovat etäisyyden, joka kunkin akselin suunnassa tulee kulkea, että päästään merkittyyyn pisteeseen. Kun koordinaatistolla kuvataan tasoa, sen kuvaamiseen riittää kaksi akselia: vaakasuunnan kuvaamiseen x-akseli ja pystysuunnan kuvaamiseen y-akseli. Kolmiulotteisessa avaruudessa sen sijaan tarvitaan kolme akselia: x-, y- ja z-akselit. Koordinaatit ilmoitetaan merkitsemällä ne sulkeisiin järjestyksessä (x, y, z) ja erottamalla kunkin ulottuvuuden koordinaattiluku pilkulla. Esimerkiksi (30, 30, 30) tarkoittaa, että piste sijaitsee kolmiulotteisen koordinaatiston pisteessä  $x = +30$ ,  $y = +30$  ja  $z = +30$  (**Kuva 2.**) /4-5/



**Kuva 2.** Piste (x30, y30, z30) suorakulmaisessa kolmiulotteisessa koordinaatistossa.

## 4 KOORDINAATTIMITTAUSKONE

### 4.1 Koordinaattimittauskoneen historiaa

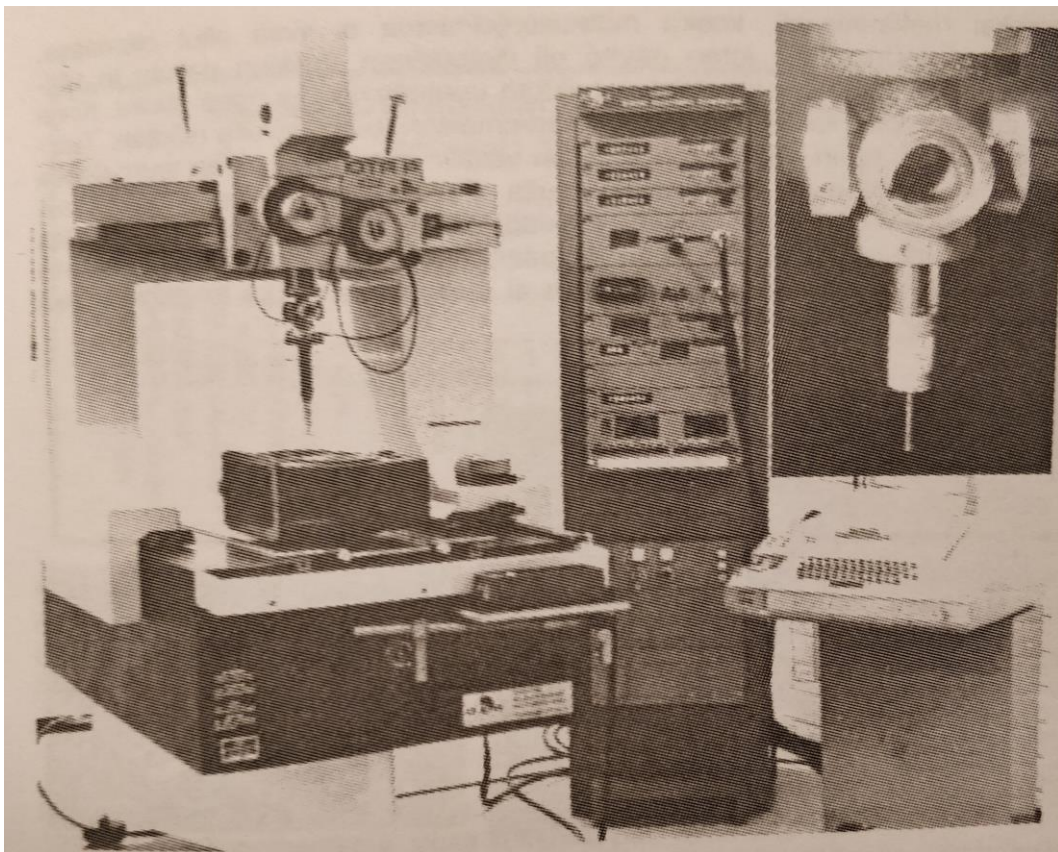
Ensimmäisinä koordinaattimittauskoneina mainitaan 1-akseliset mittauskoneet, jotka oli tarkoitettu tulkkien ja kierteiden mittaamiseen 1800-luvun puolivälistä lähtien (**kuva 3.**). Niillä havaittiin tuuman miljoonasosan pituuseroja. Moore Special Tool Company alkoi valmistaa 2-akselisia koordinaattimittauskoneita 1900-luvun puolivälissä. Näissä koneissa Z oli pyöritettävä kara, mikä toimi analogisen vipa-anturin avulla muodonmittauskoneena. Käyttämällä vipa-anturia mittauskärkenä kone toimi käsikäyttöisenä koordinaattimittauskoneena. Tästä ei kuitenkaan mennyt montaa vuotta ensimmäisiin 3-akselisiin koordinaattimittauskoneisiin. /3/



**Kuva 3.** Sip 305M -mittauspenkki. /6/

Suomeen ensimmäiset, silloin vielä käsikäyttöiset koordinaattimittauskoneet tulivat vuonna 1975. Italialainen liikkuva portaali DEA Iota P (digital Electronic Automation) (**Kuva 4.**) hankittiin silloisen Tampereen teknillisen korkeakoulun ko-

nepajatekniikan laitokselle Hervantaan. Sen liikkuva portaali oli terästä. Portaalin liikkuvat teräsjohteet ja rullalaakerit olivat säädettäviä ja niiden säätäminen oli myös tarpeellista. Mittauspää lukittiin luistien käsipyörillä, joissa oli lukitus ja hienosäätöruuvit. Portaali liikkui kivipöydän päällä ilmalaakereilla. Mittauspää oli kytkintyyppinen anturi, joka koskettaessaan mitattavaa kappaletta tallensi x-, y- ja z-koordinaatit näytölle. Koneen elektroniikka pystyi rekisteröimään yhden pisteen koordinaatit, huomioimaan kärjen sädekorjauksen, sekä laskemaan kahden peräkkäisen kosketuksen keskiarvon. Silloin ei vielä ollut saatavilla minkäänlaista tietokonetta eikä mittausohjelmistoa koordinaattimittauskoneeseen. Tästä syystä työkappaleiden suuntaus täytyi tehdä mekaanisesti asettamalla mitattavan kappaleen peruselementit koneen liikkeiden suuntaisiksi, jolloin paksuus, etäisyys ja halkaisija saatiin oikeiksi. /3/



**Kuva 4.** Kuvassa liikkuva portaalinen KMK DEA Iota P. /3/

1990-luvun lopulla suomessa oli jo useiden eri laitevalmistajien koordinaattimittauskoneita. Näistä osa myös toiminnaltaan täysin erilaisia, verraten perinteiseen portaalinmalliseen kosketukseen perustuvaan koordinaattimittauskoneeseen. Esimerkiksi optiseen, videomittaukseen ja laserdigitointiin perustuvia koneita, myös nivelvarsikoordinaattimittauskoneet (NVKMK) yleistyivät tuolloin. Niitä oli suomessa vuonna 2004 noin 30 kappaletta. /3/

## 4.2 Yleistä tietoa

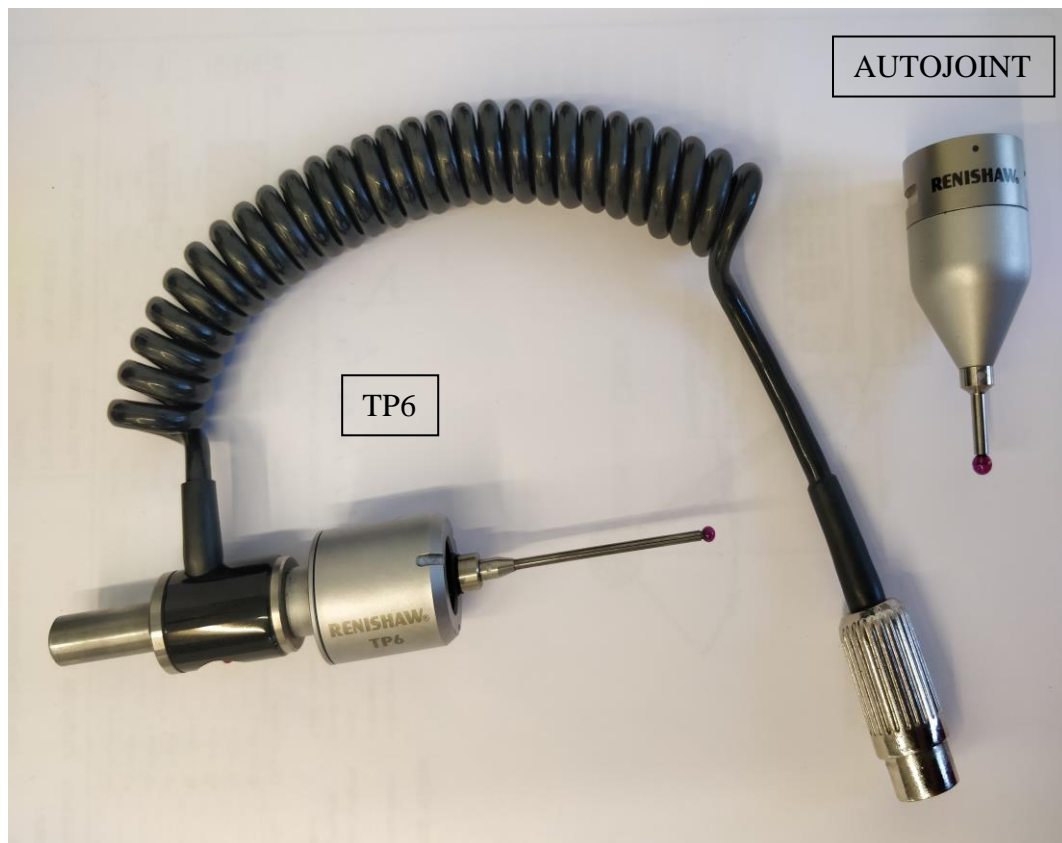
Koordinaattimittauskoneella määritellään mekaanista tai optista anturia liikuttamalla mitattavasta kohteesta pisteiden koordinaatit tasossa tai kolmiulotteisessa avaruudessa. koordinaattimittauskoneet ovat käsikäyttöisiä, motorisoituja, tai numeerisesti tietokoneella ohjattuja. Niillä voidaan suorittaa fyysisen kappaleen mitausta ja- tai 3D-digitointia. Koordinaattimittauskoneita käytetään yleisimmin mittauksen teollisuudessa. Niillä voidaan korvata useita perinteisiä käsikäyttöisiä mittausten menetelmiä, tästä syystä koordinaattimittauskonetta voidaan sanoa yleismittauskoneeksi. Kappaleesta saatua mittaustietoa voidaan verrata esimerkiksi teknisen piirustuksen vaatimuksiin, geometrisiin toleransseihin, tai suoraan CAD-malliin. /3/

Koordinaattimittauskoneissa x-, y-, ja z-koordinaattipisteiden käsittely, koneen ohjaus ja asteikkojen lukeminen tapahtuvat erillisen tietokoneen ja ohjelman avulla. Erillinen ohjelmisto laskee koneen liikeakseleiden paikka- ja anturitietoihin perustuen kosketuskohdat mitattavan kohteen pinnalla, korjaa mittauskoneen systemaattisia virheitä, muodostaa pisteistä geometrioita, sekä vertaa tuloksia CAD-malliin tai- mitta, muoto ja sijaintitoleranssivaatimuksiin. Mittaus ohjelmia on nykyisin useita erilaisia ja eri tarkoituksiin soveltuvia. /3/

Mitattavan kappaleen geometria muodostetaan mitatuista pisteistä. Koskettavalla kärjellä ja laservalolla mitattaessa pisteet ovat aina kappaleen muotojen pinnalta. Videomittaus taas perustuu kontrastieroihin, jotka havaitaan kappaleen muotojen reunoilta.







**Kuva 5.** Renishaw TP6 kytkevä mittauspää, sekä Renishaw autojoint kiinteä mittauspää.

#### 4.2.2 Lasermittaus

Koordinaattimittauskoneissa käytettyjä lasermittausmenetelmiä on kaksi; kolmiomittaus ja fokusoiva laser. Laserantureita voidaan käyttää NC-ohjatuissa sekä käsikäyttöisissä koordinaattimittauskoneissa (**Kuva 6.**) /3/

Fokusoivassa laseranturissa valon heijastusmatka kappaleen pinnasta muutetaan siirtymäksi  $\pm$ diodille (differential diode). Valon osumisetäisyys  $\pm$ diodin pintaan vaikuttaa sen jännitteeseen ja napaisuuteen. Jännitteen suuruudesta ja anturin napaisuudesta saadaan laskettua anturin etäisyys kappaleen pinnasta. /3/

Kolmiomittauksessa laser lähettää valon kohti skannattavan kappaleen pintaa, josta se heijastuu linssin kautta sensorille, muodostaen kolmion. Kolmion kulman avulla saadaan laskettua anturin etäisyys kappaleen pinnasta. Kolmiomittauksessa

käytettävistä lasertyypeistä yleisimpiä ovat anturit, jotka mittaavat vain yhden pisteen etäisyyttä sekä niin kutsutut nauhaskannerit, joilla saadaan digitoitua useita pisteitä kerralla. /3/



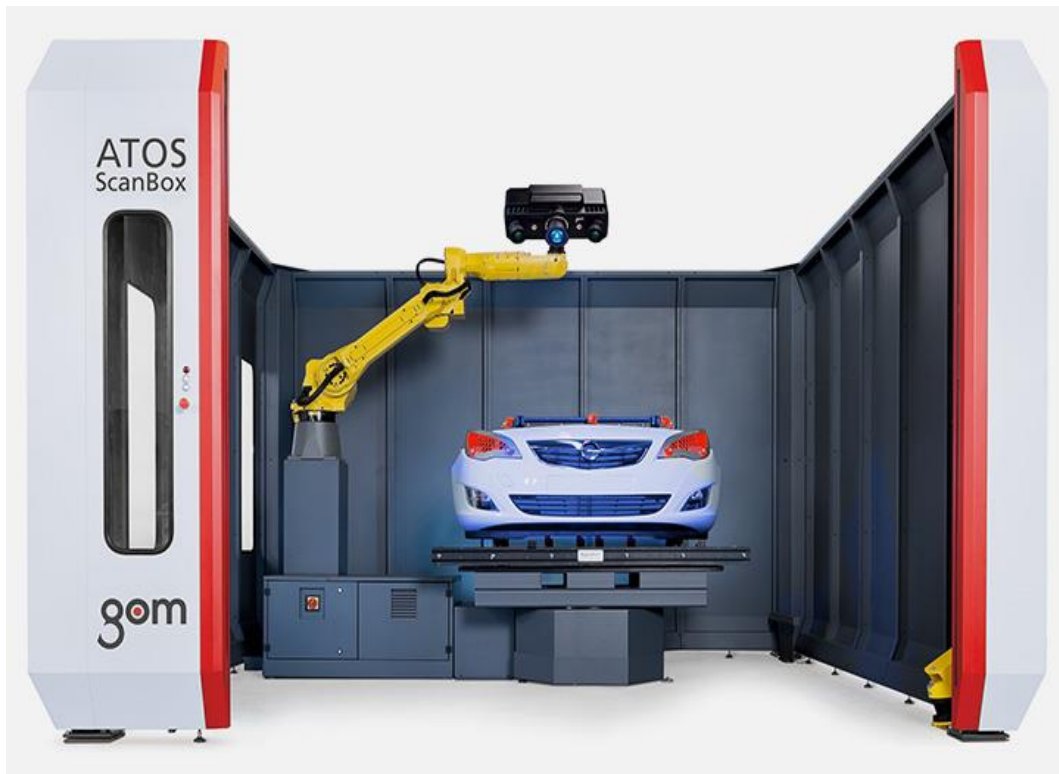
**Kuva 6.** Cyber Optics XLP 3D -nauhaskanneri NVKMK:ssa. /14/

Kappaletta skannaamalla saadaan siitä tuhansia pisteitä sekunnissa, jokaisella skannatulla pisteellä on sijainti kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Näistä pisteistä voidaan muodostaa kappaleen pinnan muotoja- ja mittoja. Tätä menetelmää käytetään kappaleen mittaamisen lisäksi käänteiseen suunnitteluun, jossa fyysistä kappaletta tehdään digitaalinen 3D-malli. /3/

### 4.2.3 Optinen mittaus

Optinen koordinaattimittauskone on skanneri, joka käyttää strukturoitua valoa ja yhtä tai useampaa kameraa mitattavan kappaleen digitointiin Pistepilveksi. Jokaisen pisteen  $x$ -,  $y$ - ja  $z$ -koordinaatit ovat tiedossa ja näistä voidaan muodostaa kappaleen pinnanmuodot. Optinen koordinaattimittauskone siis tallentaa mitattavan asian tai esineen koordinaattipisteet avaruudessa, kuten laser tai koskettava mittaus. Laser-anturista poiketen optinen skanneri tarvitsee referenssipisteitä digitoitujen pisteiden sijainnin ja etäisyyden määrittämiseen.

Optisella koordinaattimittauskoneella voidaan mitata pieniä osia sekä suuria kappaleita. Esimerkiksi kolikon kokoisesta piirilevystä auton koriin saakka. Optisilla laitteilla tehdään myös deformaatiomittauksia. Deformaatiotapahtumaa voidaan seurata pisteittäin tai dynaamisesti kokonaisesta pinnasta. Optinen koordinaattimittauskone voi olla varusteltu kääntöpöydällä ja teollisuus robotilla (**Kuva 7**). Tällöin koko mittaus tapahtuma voi olla automatisoitu. Kääntöpöytä vaihtaa kappaleen asentoa ja robotti siirtää kameran oikeaan asemaan automaattisesti, sen mukaan kuinka se on ohjelmoitu toimimaan. /8/



**Kuva 7.** GOM Atos ScanBox Series 6. /8/

#### 4.2.4 Videomittaus

Videomittauksessa optisesti mitattaessa laite käyttää hyväkseen CCD-kameralla konenäön menetelmin saatua mittauspisteen paikkaa sekä paikkatietoa, joka saadaan mekaanisten johteiden asteikoista. Videomittakone voi olla varustettu myös koskettavalla mittakärjellä. Korkeuskoordinaatin laite mittaa fokusointimenetelmän avulla. Videomittauskone on NC-ohjattu ja kappaleiden mittaus voidaan suorittaa automatisoidusti. Videomittauskoneella voidaan mitata pituutta, halkaisijaa, kulmaa, suoruutta, tasomaisuutta, yhdensuuntaisuutta ja ympyrämäisyyttä. Laite soveltuu erityisesti mittaamaan piirilevyjä, ohutseinäisiä hentoja muovi- ja metallikappaleita, sekä muita kappaleita, joiden mittaaminen koskettaen on vaikeaa. Laite on tarkoitettu pienten kappaleiden mittaukseen, esimerkiksi Mitutoyo Quickvision hyper QV-350 -videomittauskoneella kappaleen maksimipaino on 15 kg ja koneen suurin mittaustilavuus on 350 mm x 350 mm x 150 mm (**kuva 8.**)  
/9/



**Kuva 8.** Mitutoyo Quickvision Hyper QV-350 -videomittauskone. /9/

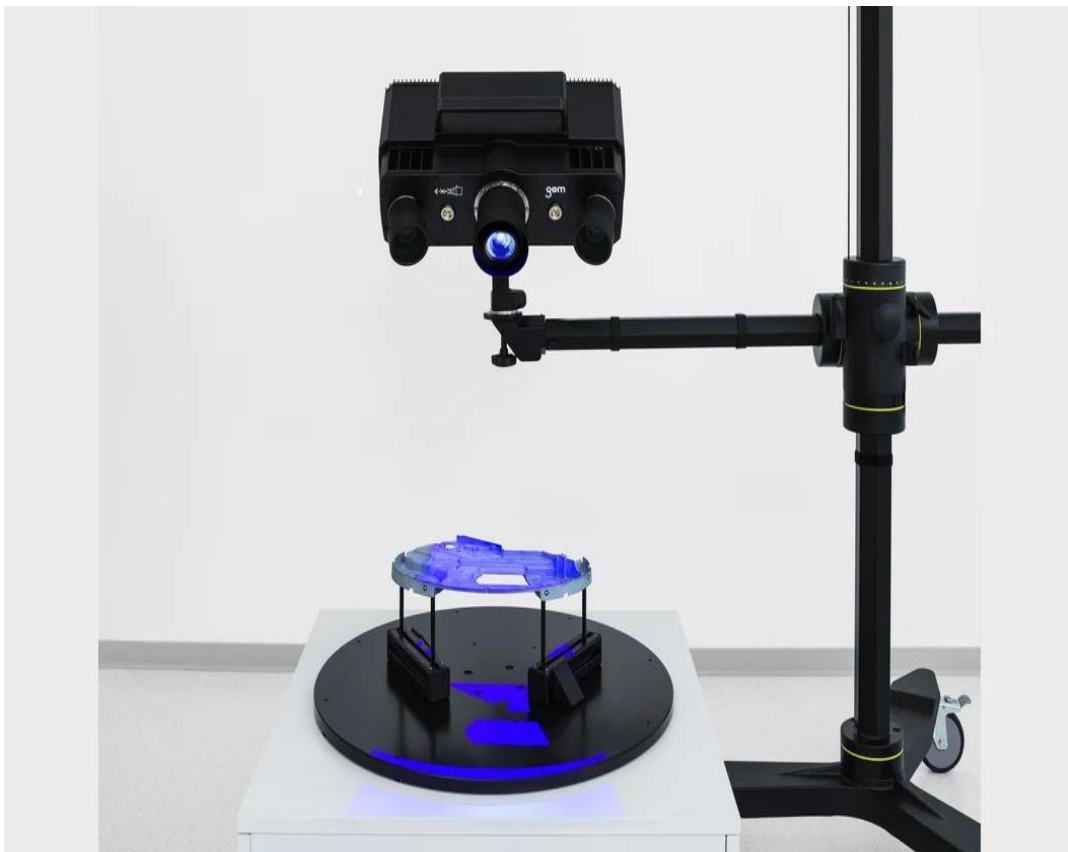
## 5 HANKINTA

### 5.1 Koordinaattimittauskonevaihtoehtoja

Tässä työssä esitellään vain muutama hankintavaihtoehtona ollut, eri toimintaperiaatteeseen perustuva koordinaattimittauskone. Työssä ei myöskään oteta kantaa koneiden kustannuksiin, vaan vertaillaan ainoastaan ominaisuuksia ja soveltuvuutta käyttötarkoitukseen.

#### 5.1.1 GOM Atos 5

GOM Atos 5 (**Kuva 9.**) on optinen 3D-skanneri, jonka toiminta perustuu kirkkaaseen sinivaloon, kameraan/kameroihin, sekä referenssipisteisiin. Valon ja referenssipisteiden avulla kamera tallentaa mitattavan kappaleen pinnanmuodot. Projektorin heijastama sininen valo, heijastuu työkappaleesta kameroille, heijastuksesta ja referenssipisteistä laite muodostaa 3D-pistepilven. Optisella skannerilla mitattaessa suurin osa kappaleista tuli maalata aineella, joka teki kappaleesta mattapintaisen. Mitattavaan kappaleeseen tuli myös kiinnittää referenssi tarroja, jotta mittausohjelma pystyi laskemaan pistepilven sijainnin x-, y- ja z-koordinaatistossa. Skannerin tarkkuus on 0.05 mm - 0.29 mm. Kiinteä mittausalue on 880 mm, mutta sitä voidaan kasvattaa referenssipisteiden avulla, laitetta tai mitattavaa kappaletta siirtäen. /10/



**Kuva 9.** GOM Atos 5 optinen 3D-koordinaattimittauskone. /10/

### 5.1.2 Metronor solo

Metronor solo (**Kuva 10.**) oli yksi hankinta vaihtoehdoista. Metronor solo on kannettava koordinaattimittausjärjestelmä, joka perustuu tietokoneeseen, kameraan ja kädessä pidettävään mittausvarseen. Mittausvarressa on langaton yhteys ja antureita, jotka kamera havaitsee ja pystyy niiden perusteella laskemaan mittauskärjen tarkan sijainnin. Mittauskärki on kiinteä ja mittauspisteet tallennetaan varressa olevalla painikkeella.





**Kuva 10.** Metronor solo. /11/

Metronorilla mitattaessa varren sensorit tuli olla aina kameraa kohti ja vartta täytyi pidellä tarkoin paikallaan. Jos kamera ei havainnut sensoreita, tai varsi värähti vähääkään pistettä tallentaessa, mittaus epäonnistui. Tämä teki mittaamisesta hie- man hankalaa ja hidasta. Syynä tähän oli mahdollisesti se, että Metronor solo so- veltuu parhaiten suurten kappaleiden mittaukseen. Metronorin mittausalue on 1,5-25 m ja tarkkuus 0,16-0,43 mm riippuen mittauskärjen sensoreiden etäisyy- destä kameraan. Kun taas kohdeyrityksessä yleisimmin mitattavat kappaleet ovat kooltaan noin 10-3000 cm. Metronoriin saatavana olleella mittausohjelmalla pys- tyttiin suorittamaan tarvittavat mittaukset. /11/

### 5.1.3 RPS EVO-XR 7

RPS EVO-XR 7 (**Kuva 12.**) on Italiassa valmistettu seitsemän akselinen, käsi- käyttöinen nivelvarsikoordinaattimittauskone (NVKMK). Se on varusteltu mag- neettijalustalla, akulla ja langattomalla yhteydellä. Koskettavaan mittaukseen pe- rustuvan kiinteän mittauskärjen lisäksi siinä on irrotettava nauhaskanneri, jonka

toiminta perustuu kolmiomittaukseen. Nauhaskanneri käyttää sinistä laservaloa, joka mahdollistaa kiiltävien sekä erittäin tummien pintojen skannauksen. Skannerissa on myös integroitu kosketuspää, tästä syystä mittauspää ei tarvitse vaihtaa siirryttäessä skannauksesta koskettavaan mittaukseen. Kun vaihdetaan mittauskärjestä skanneriin, tai erikokoiseen mittauskärkeen, kalibrointia ei tarvita. Renishaw autojoint -järjestelmän avulla laite tunnistaa automaattisesti mikä mittauspää varteen on kiinnitettynä (**Kuva 11.**).



**Kuva 11.** Renishaw autojoint -mittauspään vaihtojärjestelmä. /12/

Nivelvarsikoordinaattimittauskoneella (NVKMK) mitattaessa vartta sekä siihen kiinnitettyä mittauspäää liikutetaan käsikäyttöisesti, varsien nivelet välittävät pulssianturien avulla tietoa mittakärjen sijainnista mittausohjelmistolle. Referenssipisteitä tarvitaan ainoastaan, jos mittavartta tai mitattavaa kappaletta siirretään kesken mittauksen. Kappaletta tai mittavartta siirtämällä voidaan kasvattaa mittausaluetta. Irrotettava viivanauhaskanneri mahdollistaa koskettamattoman mittauksen lisäksi, kappaleen digitoinnin pistepilveksi, esimerkiksi käännteistä suunnittelua varten. Mittaustuloksia ja skannausdataa käsitellään erillisen tietokoneen ja mittausohjelmiston avulla. Erilaisia mittausohjelmia RPS EVO-XR 7:n on saatavilla useita.



**Kuva 12.** RPS EVO-XR 7 -nivelsikoordinaattimittauskone. /12/

NVKMK:n mittausalue muodostaa pallokalotin. Kyseisen RPS EVO-XR 7:n mittausalue on halkaisijaltaan 4 metriä, sen toistettavuus käytettäessä koskettavaa mittauspäättä on 0,068 mm ja tarkkuus 0,033-0,123 mm. Skannerin tarkkuus on 0,084 mm, resoluutio 0,019 mm ja digitointinopeus on 384,000 pistettä sekunnissa. Laserviivan leveys on 50-144 mm ja skannaus etäisyys kappaleen pinnasta 65-265 mm. Mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä nivelsikoordinaattimittauskoneessa ovat esimerkiksi varren nivelten pulssiantureiden tarkkuus, sekä varrien pituus. Laitteen valmistajalta on saatavilla ISO10360-12 -standardin mukainen tarkkuustodistus. /12/

## 5.2 Valinta ja perustelut

Hankittavaksi koordinaattimittauskoneeksi valittiin RPS EVO-XR 7 - nivelvarsikoordinaattimittauskone (NVKMK). Vaihtoehtoisista koordinaattimittauskoneista, nivelvarsikoordinaattimittauskone oli selkeästi monipuolisin ja soveltuvin yrityksen käyttötarkoitukseen. Myös RPS EVO-XR 7:n tarkkuus on riittävä, se soveltuu kappaleiden mittaamiseen, joiden toleranssi vaatimus on pienimmillään 0,033 mm.

Koskettavan mittauksen ja skannauksen yhdistelmän ansiosta sillä on mahdollista mitata, sekä skannata tarvittaessa lähes minkäläistä kappaletta tahansa. Erityisen hyvin se soveltuu juuri taivutettujen putkien mittaamiseen, sekä kappaleiden, jotka muotonsa, painonsa tai kokonsa puolesta eivät sovellu perinteisillä portaalimalisilla koordinaattimittauskoneilla mitattavaksi. Mittavarressa on 7 liikkuvaa niveltä ja sitä liikutetaan käsin, joten mittauspään voi helposti viedä hankaliinkin paikkoihin ja asentoihin.

RPS:ään saatavana ollut mittausohjelmisto Polyworks Inspector, on erittäin monipuolinen. Samalla mittausohjelmistolla voidaan suorittaa mittaukset tehokkaasti koskettaen, sekä skannaamalla. Polyworks Inspector on yksi parhaimmista tällä hetkellä koordinaattimittauskoneisiin saatavana olevista mittausohjelmistoista, se on saatavilla useimpiin koordinaattimittauskoneisiin, toimintaperiaatteesta riippumatta. Polyworks Inspector -mittausohjelmistoa päivitetään jatkuvasti, minkä ansiosta se ei vanhene nopeasti ja käytössä on jatkuvasti uusimmat ominaisuudet.

Merkittävä vaikutus nivelvarsikoordinaattimittauskoneen (NVKMK) valintaan oli myös sillä, ettei sillä mitattaessa tarvitse käyttää referenssitarroja tai merkkejä, eikä skannaten mitattaessa kappaleita tarvitse pinnoittaa aineella, joka poistaa heijastukset. Varsinkin kappaleiden pinnoittaminen tekisi mittaamisesta huomattavasti työläämpää ja hitaampaa. Esimerkiksi pinnoitetut liitoslaippaputket joudutaisiin aina pesemään mittauksen jälkeen, tämä altistaisi ne ruosteelle ja aiheuttaisi lisää kustannuksia.

## 6 KÄYTTÖÖNOTTO

### 6.1 Valmistelut tuotantotiloissa

Kun päätös hankinnasta oli tehty, alettiin etsiä tuotannosta sopivaa sijoituspaikkaa mittavarrelle. paikaksi valittiin aiemmin varastona toiminut tila, johon tehtiin erillinen 20m<sup>2</sup>:n mittaushuone. Tärkeimpiä vaatimuksia mittaushuoneen sijainnille oli sopiva etäisyys muusta tuotannosta, tasainen lämpötila, sekä mahdollisimman vähäinen työkoneista ja trukkiliikenteestä aiheutuva värinä.

Mittaushuoneeseen valmistettiin metallinen mittauspöytä, mitoiltaan 2 000 mm x 1 200 mm. Pöytään asennettiin säädettävät jalat ja sen kansi koneistettiin tasaiseksi. Ulkoisten mittaukseen vaikuttavien häiriötekijöiden, kuten tärähdysten ja värinöiden ehkäisemiseksi pöydästä tehtiin mahdollisimman painava.

Metallinen kansi mahdollistaa magneettijalustalla varustellun nivelvarsikoordinaattimittauskoneen (NVKMK) kiinnityksen mihin tahansa kohtaan pöydän kantta. Mahdollisuus liikuttaa mittavartta, helpottaa hankalan muotoisten ja pitkien kappaleiden mittausta. Mittaushuoneeseen asennettiin myös siirrettävä lisänäyttö helpottamaan mittausta ja mittaustulosten tarkastelua.



**Kuva 13.** Metallinen mittauspöytä, koneistetulla kannella.



**Kuva 14.** Lisänäyttö ja mittauspöytä.



## 6.2 Käyttöönottotarkastus

RPS EVO-XR 7:n käyttöönotto aloitettiin ensin tarkastamalla kaikki siihen kuuluvat varusteet, sekä laitteen ulkoinen kunto. RPS EVO-XR 7 varusteet ja kuljetussalkku (Kuva 15.).



**Kuva 15.** RPS EVO-XR 7 kuljetussalkussa.

Visuaalisen tarkastuksen jälkeen kiinnitettiin NVKMK magneettijalustalla mitauspöytään, kytkettiin siihen virta ja yhteys erilliseen tietokoneeseen (Kuva 16.). Tietokoneelle oli jo aikaisemmin asennettu PolyWorks Inspector -mittausohjelma ja K-arm-diagnostiikka- ja kalibrointiohjelma. RPS EVO-XR 7 oli kalibroitu jo tehtaalla ja se toimitettiin valmiiksi kalibroituna, eikä sitä tarvinnut kalibroida enää käyttöönoton yhteydessä. Testaaminen aloitettiin valmistelemalla mittausoh-

jelma liitoslaippaputkelle, jota sen jälkeen mitattiin koskettavalla mittauspäällä, sekä nauhaskannerilla.



**Kuva 16.** Mittauksen valmistelu.



## 6.3 RPS EVO-XR 7 -Mittaus

### 6.3.1 Mittausohjelma

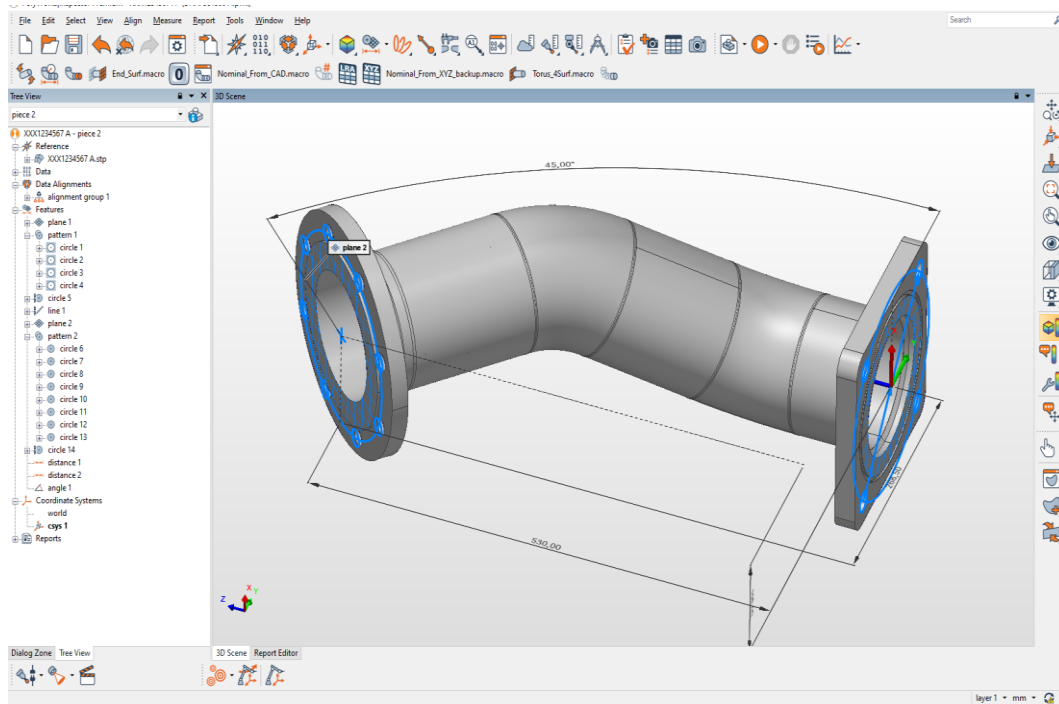
Mittausohjelma kannattaa tehdä varsinkin silloin, kun samaa kappaletta mitataan toistuvasti. Valmis mittausohjelma lyhentää mittausaikaa huomattavasti. Mittausohjelman avulla henkilö, joka ei osaa käyttää koneen varsinaista ohjelmistoa pystyy suorittamaan mittauksen. Mittausohjelma parantaa myös mittaustulosten vertailukelpoisuutta, koska kappaleesta mitataan samat piirteet, samalla menetelmällä.

Mittausohjelma syntyy siten, että määritellään 3D-mallista ne piirteet ja muodot, joita halutaan tarkastella ja mistä kappale mitoitetaan. Joskus 3D-mallin koordinaatisto on valmiiksi oikeassa paikassa, eli malli on mitoitettu kuten valmistuspiirustuskin. Aina ei kuitenkaan näin ole ja tällöin sijoitetaan kappaleen koordinaatisto ohjelmointi vaiheessa oikeaan paikkaan. Esimerkiksi tämä kyseinen liitoslaipallinen putki on mitoitettu koneistetusta neliölaipasta, asettamalla työkappaleen koordinaatisto laipan keskelle, koneistetun pinnan tasalle (**Kuva 17.**). Kappaleen oikein mitoittaminen on erittäin tärkeää, varsinkin jos valmistuspiirustuksessa on määritetty peruselementit kappaleelle. Koordinaatiston pienelläkin käännöllä on suuri vaikutus mittaustuloksiin. Oikein tehty mitoitus helpottaa myös mittaustulosten tarkastelua.

Mittausohjelman tekeminen ei ole kuitenkaan välttämätöntä, kappaleesta voidaan mitata halutut piirteet ilman ohjelmaakin. Mittausohjelma voidaan tehdä myös käänteisesti mittauksen pohjalta ja toleranssiarvot, syöttää koneelle käsin. Mittausohjelman tekeminen 3D-mallin pohjalta mahdollistaa kuitenkin off-line-ohjelmoinnin, jolloin mittausohjelmia pystytään valmistelevaan tietokoneella, ilman koordinaattimittauskonetta. Myös mittaustulosten tarkastelu ja raportointi on 3D-mallin avulla huomattavasti helpompaa ja visuaalisempaa.

Samaa mittausohjelmaa voidaan käyttää koskettaen mitattaessa, sekä skannattaessa. Mittaustapaa vaihdettaessa täytyy ohjelmalle vain kertoa millä menetelmällä kappaletta mitataan. Koska RPS:n skannerissa on myös kiinteä kosketuspää, voi-

daan koskettavaa ja skannaavaa mittausta yhdistää jopa samaan mittaukseen. Esimerkiksi pienet reiät, joista laser heijastuu huonosti takaisin skanneriin, voidaan mitata koskettaen ja isommat piirteet skannata.



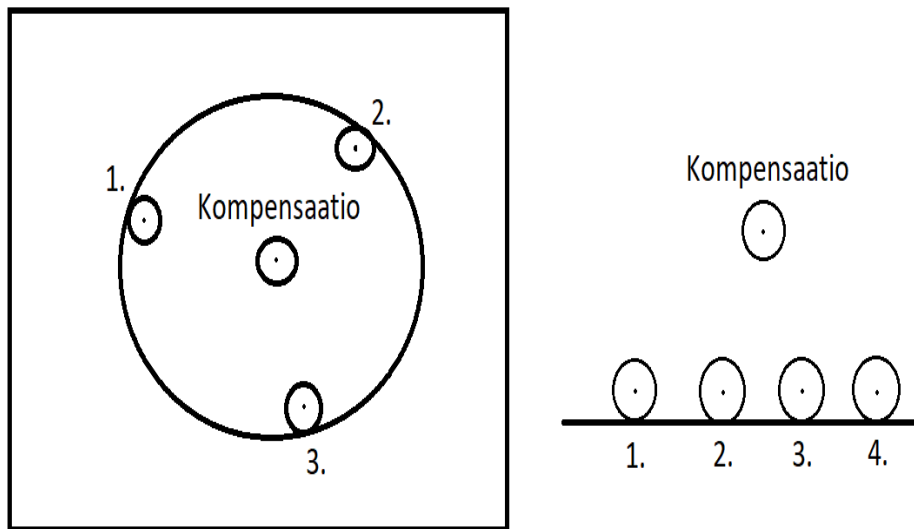
**Kuva 17.** Kuvakaappaus CAD-mallin mitoituksesta polyworks inspectorilla.

### 6.3.2 Mittaus ja skannaus

RPS EVO-XR 7:n kahvassa on kolme painiketta yksi vihreä keskellä ja punaiset molemmilla sivuilla, tämä mahdollistaa varren liikuttamisen sekä oikea, että vasenkätisesti. Koskettaen mitattaessa vihreällä painikkeella kerätään pisteet ja punaisella hyväksytään tai hylätään ne. Kun käytössä on viivanauhaskanneri, käytetään ainoastaan vihreää painiketta. Yksi painallus käynnistää skannauksen ja toinen pysäyttää.

Punaista painiketta käytetään kosketuksella mitattaessa myös kompensointiin, koska mittauspää on kiinteä, ei laite tiedä mikä kohta mittauspäästä koskee mitattavaa kappaletta, koordinaattipistettä tallennettaessa. Ohjelmoitaessa, tai mittauksen aikana määritetty piirre, jota halutaan mitata, muodostetaan pisteitä rekisteröi-

täessä mittauspään keskipisteestä ja tämän takia kompensatiolla pitää kertoa laitteelle mistä suunnasta piirre tai muoto on mitattu. Esimerkiksi reikää mitattaessa kompensatiopiste otetaan reiän keskellä, jolloin ohjelmisto kompensoi reiän halkaisijan oikeaksi, tiedossa olevan mittauspään halkaisijan mukaan (**Kuva 18.**).



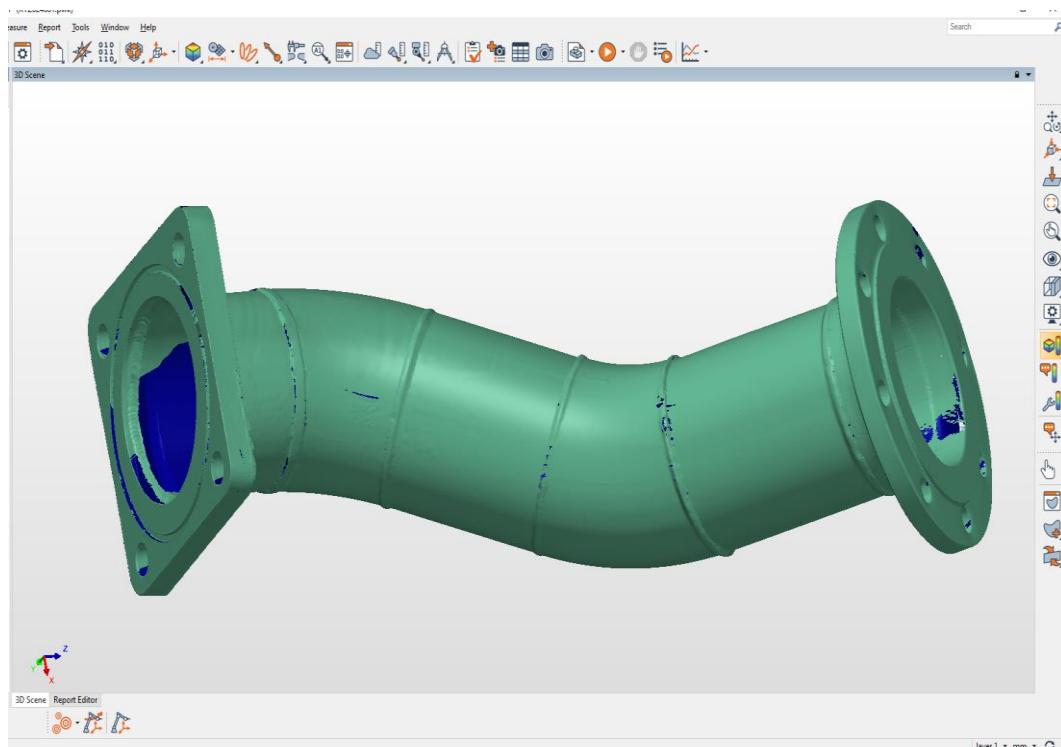
**Kuva 18.** Kompensointi reiän ja tason mittauksessa.

Nauhaskannerilla mitattaessa, skannaaminen tapahtuu liikuttamalla mittavarten kiinnitettyä skanneria, siten että siitä lähtevä viivanmuotoinen, 50-144 mm leveä lasersäde ”pyyhkii” kappaleen pintaa 65-265 mm etäisyydellä. Tehokkaimmin pistepilven taltiointi onnistuu, kun lasersäde kohdistuu kohtisuorassa skannattavaan pintaan. Tämän takia monimuotoisia kappaleita skannattaessa, skanneria kannattaakin kuljettaa eri asennoissa kappaleen yllä. Koska skanneria liikutetaan käsin, saadaan sillä nopeasti skannattua pinnat hankalistakin paikoista, nivelvartisen rakenteen ansiosta. Hankalimpia skannattavia piirteitä on pienet reiät, sekä vahvasti peilaavat pinnat.

Kappaletta voidaan siirtää, tai se voidaan kääntää kesken mittauksen, esimerkiksi mittausalueen kasvattamiseksi, tai että saadaan kappale skannattua joka suunnasta. Tämä voidaan tehdä joko referenssipisteitä hyödyntäen, tai sitten yhdistämällä

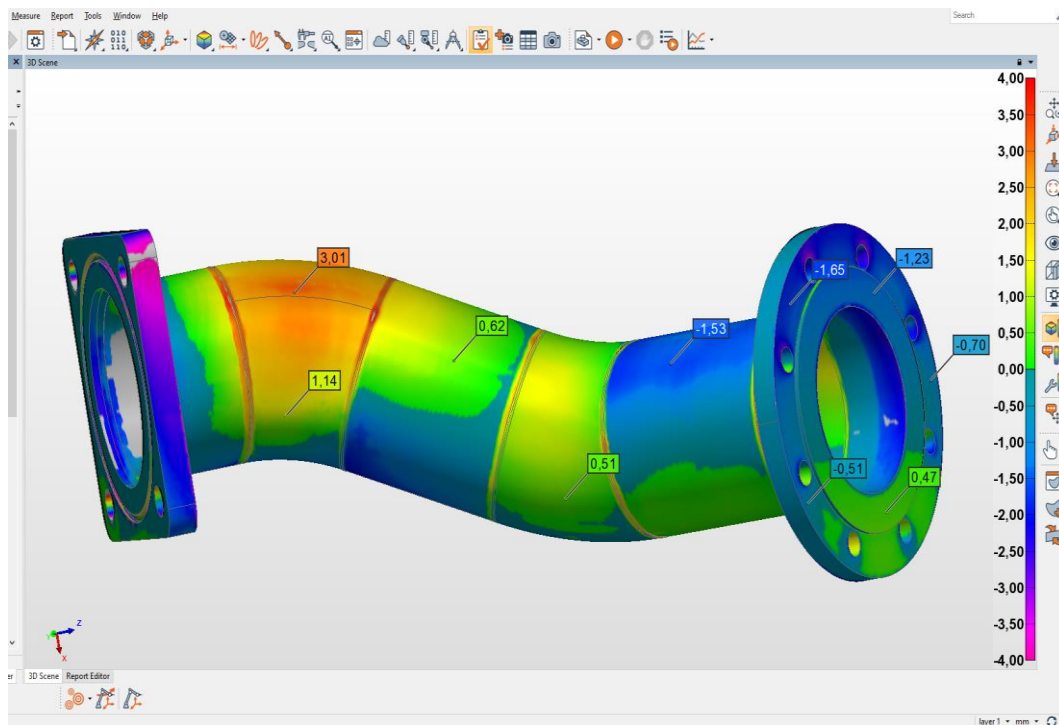
ensimmäinen skannaus ja siirron jälkeinen toisiinsa. Kokonaan skannattu liitoslaippaputki (**Kuva 19.**).

Mittausohjelmaan voidaan määrittää, että ohjelma kertoo mittaajalle, kun kappaleen muodoista ja piirteistä on tarpeeksi digitoituja pisteitä, mittojen muodostamiseen. Mittausohjelma myös rakentaa reaaliajassa pistepilveä tietokoneen näytölle, josta nähdään koko ajan, kuinka skannattava kappale muodostuu ja mitkä piirteet on saatu digitoitua.



**Kuva 19.** Skannattu liitoslaippaputki.

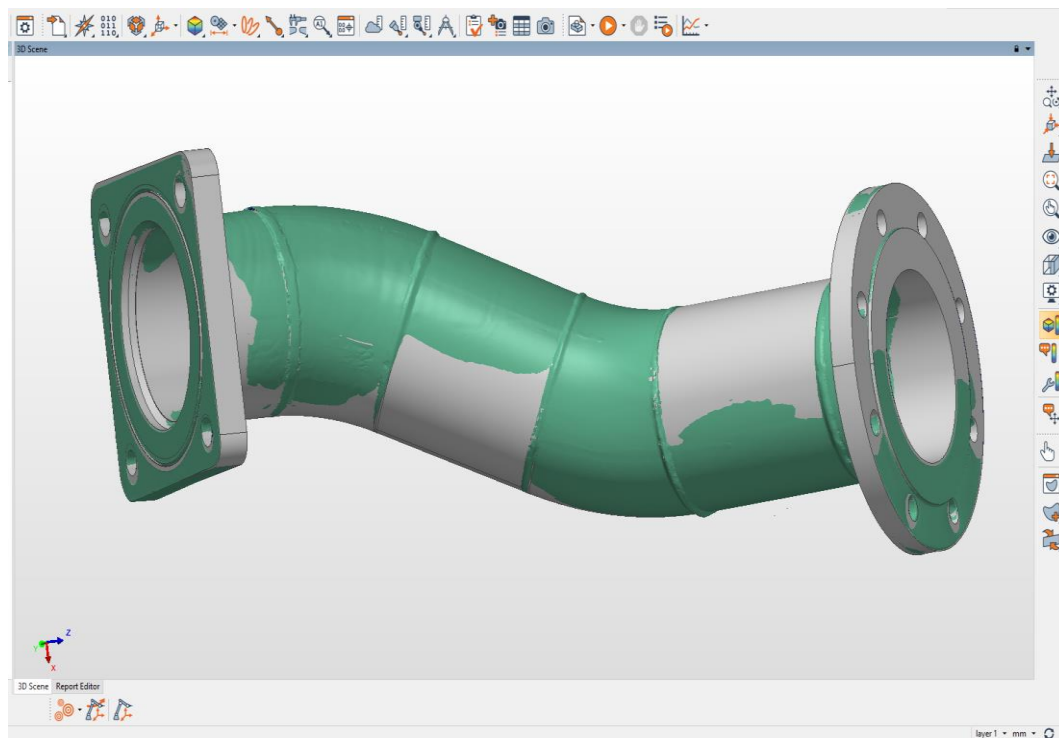
Vaikka skanneria käytetään paljon pelkkään digitointiin ja käänteiseen suunnitteluun (reverse engineering), soveltuu se erinomaisesti myös mitta-, muoto- ja toleranssivirheiden tarkastukseen. Kun mittaus on suoritettu skannaamalla, voidaan koko kappaleen muotopoikkeamia tarkastella värikartalla, joka näyttää skannatun kappaleen muotovirheet visuaalisesti 3D-malliin verraten (**Kuva 20.**).



**Kuva 20.** 3D-mallin ja skannauksen vertaaminen värikartan avulla.

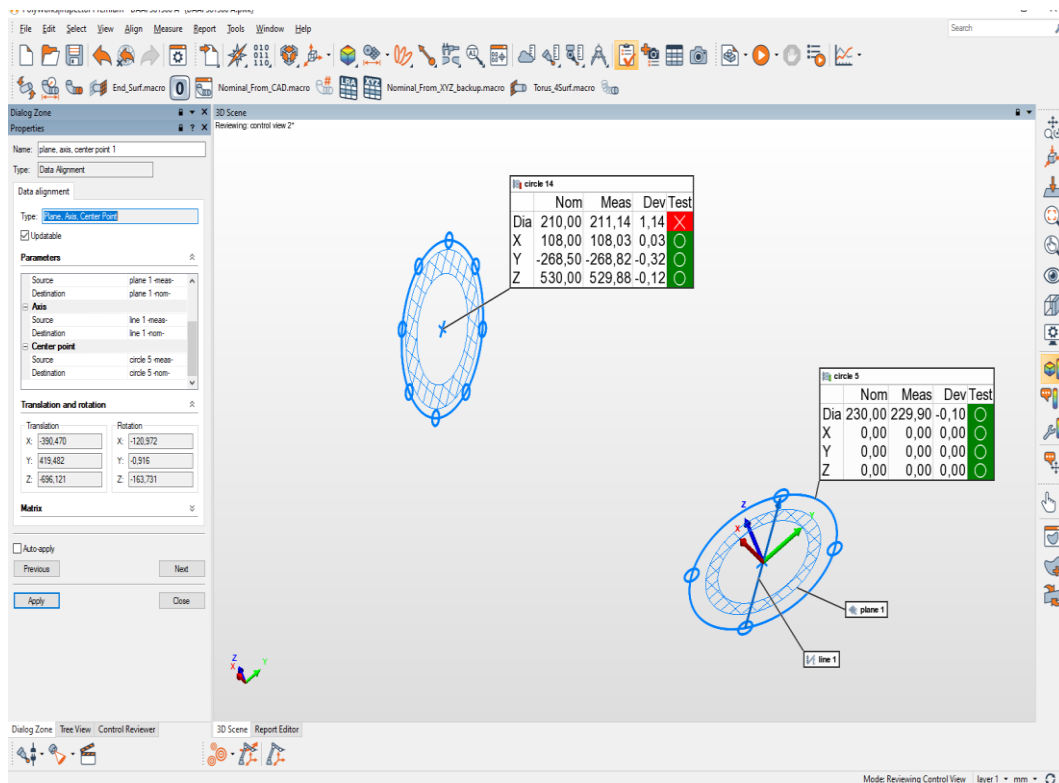
### 6.3.3 Vertaaminen 3D-malliin

Kun kappale on skannattu, verrataan sitä ensin parhaalla mahdollisella sovituksella (Best-fit) 3D-mallia vasten (**Kuva 21.**). Best fit ei ole useimmiten kuitenkaan oikea tapa, koska sillä saadaan mittaustuloksista parempia, kuin kappale todellisuudessa on. Tämän takia mitattu ja 3D-malli tulee linjata (Alignment), sen käytön kannalta tärkeimmän/tärkeimpien piirteiden mukaan, tai valmistus piirustuksissa esitettyjen vaatimusten mukaan. Linjaustapoja on useita, esimerkiksi referenssipisteiden, kappaleen piirteen tai muodon mukaan, tiettyjen pintojen mukaan, kolmen akselin mukaan ja useita muita. Yleensä linjaus tehdään jonkun työkappaleen peruselementti(e)n kuten taso, lieriö, suora, ympyrä ja piste mukaan. Mittaajan tulee tietää mikä on oikea menetelmä kyseiseen mittaukseen.



**Kuva 21.** 3D-malli ja skannattu linjattuna.

Mitattaessa liitoslaipallista putkea lähes poikkeuksetta oikea linjaustapa on, linjata mitattu ja 3D-malli liitoslaipasta, jonka mukaan kappale on mitoitettu. Mitattaessa kyseistä liitoslaipallista putkea, kun linjataan koneistetun laipan pinta ja laipan kiinnitysreiät, saadaan mittavirheet näkymään liitoslaippaputken toisessa päässä, pyöreään DIN-laipan sijainti virheenä. Näin nähdään, vastaako kappale todella sille asetettuja vaatimuksia. Kuvasta nähdään, kuinka linjaus on tehty ja kuinka se vaikuttaa mittaustuloksiin (**Kuva 22.**).



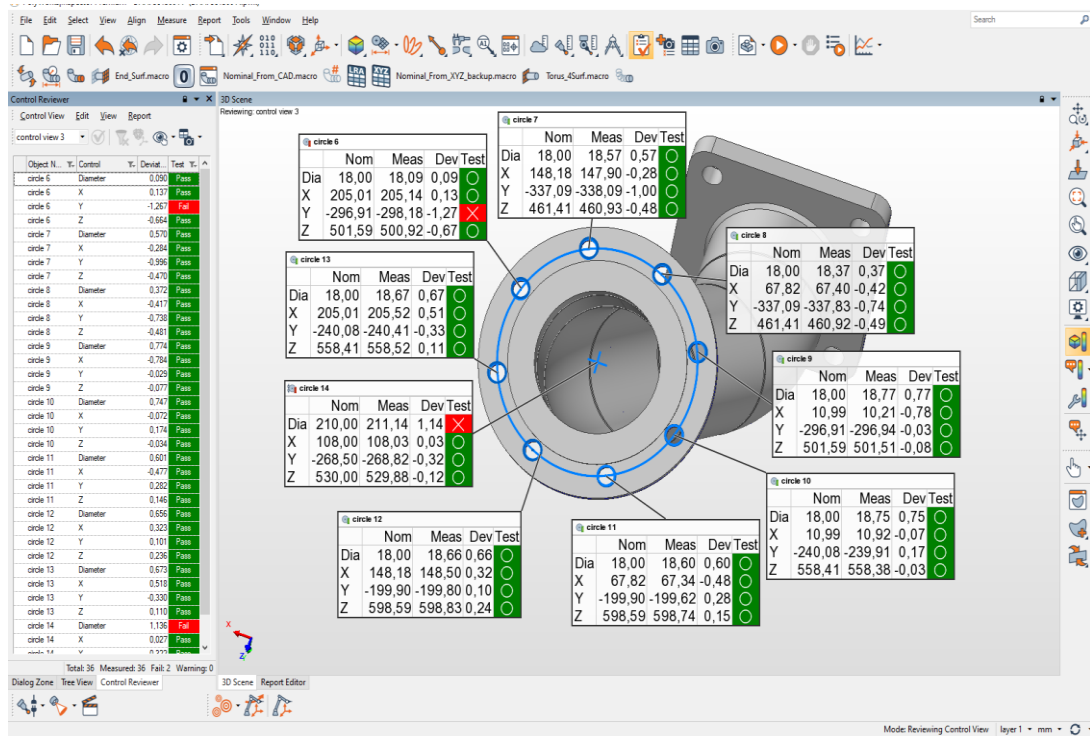
**Kuva 22.** 3D-mallin ja skannauksen linjaus.

### 6.3.4 Tulokset ja raportointi

Polyworks inspektorissa on mittausraporttien tekemiseen oma työkalu, jonka avulla raporteista on helppo tehdä visuaalisia ja selkeitä. Mittausohjelmaan sillä voidaan tehdä myös valmis raporttipohja, jossa samaa kappaletta uudelleen mitattaessa, mittaus tulokset esitetään automaattisesti raportissa samalla tavalla, eikä raporttia tarvitse enää tehdä uudelleen.

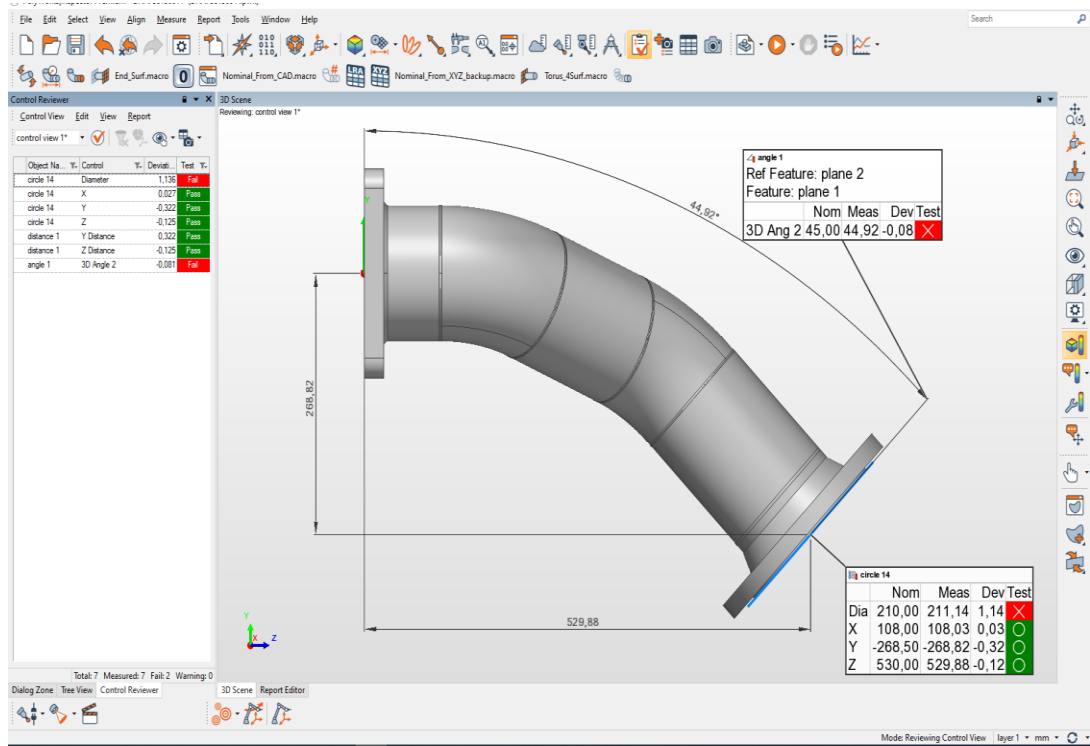
Mittaus tuloksia raportoitaessa tulee huomioida, että raportista nähdään, vastaako mitattu kappale valmistuspiirustuksessa esitettäviä mitta, muoto ja toleranssivaatimuksia. Lisäksi on tärkeää huomioida, kenelle tuloksia raportoidaan. Onko raportti kappaleen valmistusta, vai laadun valvontaa varten. Tällä on merkitystä sen kannalta, kuinka mitta ja muoto virheet raportissa esitetään. Raportoitavien mittaus tulosten tulee olla ymmärrettäviä ja selkeitä. Mittausraportti mitatusta liitos-

laippaputkesta liitteenä (**Liite 1**). Kuvakaappauksia, eri tavalla esitetyistä mittaus-  
tuloksista (**Kuva 23.**) ja (**Kuva 24.**).



**Kuva 23.** Kuvakaappaus mittaustuloksista.





**Kuva 24.** Kuvakaappaus mittaustuloksista.

## 7 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä vertailtavana oli eri valmistajien, toimintaperiaatteeltaan erilaisia koordinaattimittauskoneita. Hankittavaksi koordinaattimittauskoneeksi valittiin RPS Metrology EVO-XR 7 -nivelsikoordinaattimittauskone (NVKMK) nauhaskannerilla, koskettavalla mittauspäällä ja Polyworks Inspector -mittausohjelmistolla varustettuna.

Uusi koordinaattimittauskone ja sen mittausohjelmisto mahdollistavat liitoslaipaputkien tarkastuksen ja mittautulosten raportoinnin, sille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Mahdollisuus tarkkaan mittaukseen sekä mittatulosten raportointiin on ensiarvoisen tärkeää tuotteiden laadunvarmistuksen ja seurannan kannalta. Tämän lisäksi siitä on suuri hyöty hitsattavien kappaleiden valmistusvaiheessa, kun kappaleita voidaan tarkistaa jo ennen niiden hitsaamista valmiiksi saakka. Tässä vaiheessa kappaleen mittoja on vielä mahdollista korjata, jolloin säästetään materiaalia ja työaikaa.

Yrityksen vanha nivelsikoordinaattimittauskone (NVKMK) (Tomelleri arm) olisi ollut mahdollista päivittää vastaamaan nykyisiä tarpeita. Se ei olisi kuitenkaan ollut kannattavaa, koska vanhan nivelsikoordinaattimittauskoneen (NVKMK) (Tomelleri arm) käyttöaste on nykyisellään suuri, sillä se on 3-4:n putkentaivutuskoneenkäyttäjän käytössä päivittäin. Sillä mitataan putki taivutuksen jälkeen jokaisesta valmistuserästä. Myös uuden ja monipuolisemman mittausohjelmiston koulutus kaikille putkentaivutuskoneen käyttäjille olisi tuottanut haasteita.

Koordinaattimittauskoneisiin (KMK) on saatavilla useita erilaisia mittausohjelmistoja. Mittausohjelmistoa valittaessa tulee ottaa huomioon, minkä mittaamiseen konetta ja ohjelmistoa käytetään. On myös tärkeää, että mittausohjelmistoon on saatavilla päivityksiä, sillä muuten mittausohjelmisto saattaa vanheta nopeasti. Itse koordinaattimittauskone ei välttämättä vanhene kovinkaan nopeasti, enemmän sen suorituskyky on kiinni mittausohjelmistosta.

Koska nivelvarsikoordinaattimittauskone (NVKMK) on käsikäyttöinen, sen suurin mittaukseen ja mittaustuloksiin vaikuttava tekijä on itse mittaaja. Tästä syystä oikeat mittausmenetelmät ja mittaajan ammattitaitoisuus korostuvat nivelvarsikoordinaattimittauskoneella (NVKMK) mitattaessa.

Vaikka nivelvarsikoordinaattimittauskoneen (NVKMK) tarkkuus ei yllä aivan perinteisen portaalimallisen koordinaattimittauskoneen (KMK) tasolle, se on kuitenkin riittävä hitsattujen, sekä useimpien teollisuudessa valmistettävien kappaleiden mittaukseen. RPS EVO-XR 7 soveltuu kappaleiden mittaamiseen, joiden toleranssi vaatimus on pienimmillään 0,033 mm.

Nivelvarsikoordinaattimittauskone (NVKMK) on selkeästi paras ratkaisu taivutettujen liitoslaippaputkien mittaukseen. Koska vartta ja siihen kiinnitettyä mittauspäättä tai skanneria liikutetaan käsin, saadaan sillä juuri sen nivelvartisen rakenteen ansiosta nopeasti ja helposti tallennettua koordinaattipisteet hankalistakin paikoista, joihin ei portaalimallisilla koordinaattimittauskoneilla (KMK) päästä. Perinteisillä portaalimallisilla koordinaattimittauskoneilla (KMK) ei ole mahdollista mitata yhtä haastavan muotoisia kappaleita, johtuen niiden kiinteästä rakenteesta.

Toisin kuin optisilla skannereilla mitattaessa, nivelvarsikoordinaattimittauskoneella (NVKMK) ei tarvita referenssitarroja tai merkkejä, kun varsi on kiinteästi paikallaan. Nivelvarsikoordinaattimittauskoneeseen kiinnitetyllä, kolmiomittaukseen perustuvalla nauhaskannerilla skannattaessa kappaletta ei tarvitse pinnoittaa mattapintaiseksi.

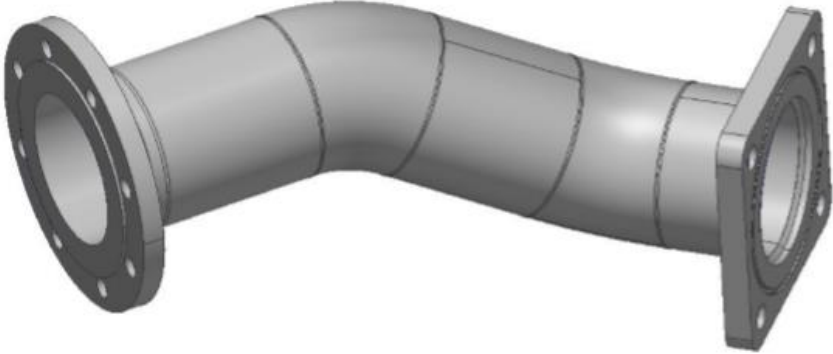
Tätä opinnäytetyötä tehdessä sain paljon lisää tietoa ja oppia koordinaattimittauksesta, koordinaattimittauskoneista, sekä niiden mittausohjelmistoista. Erityisen mielenkiintoisen työstä teki se, että sille oli todellinen tarve ja merkitys.

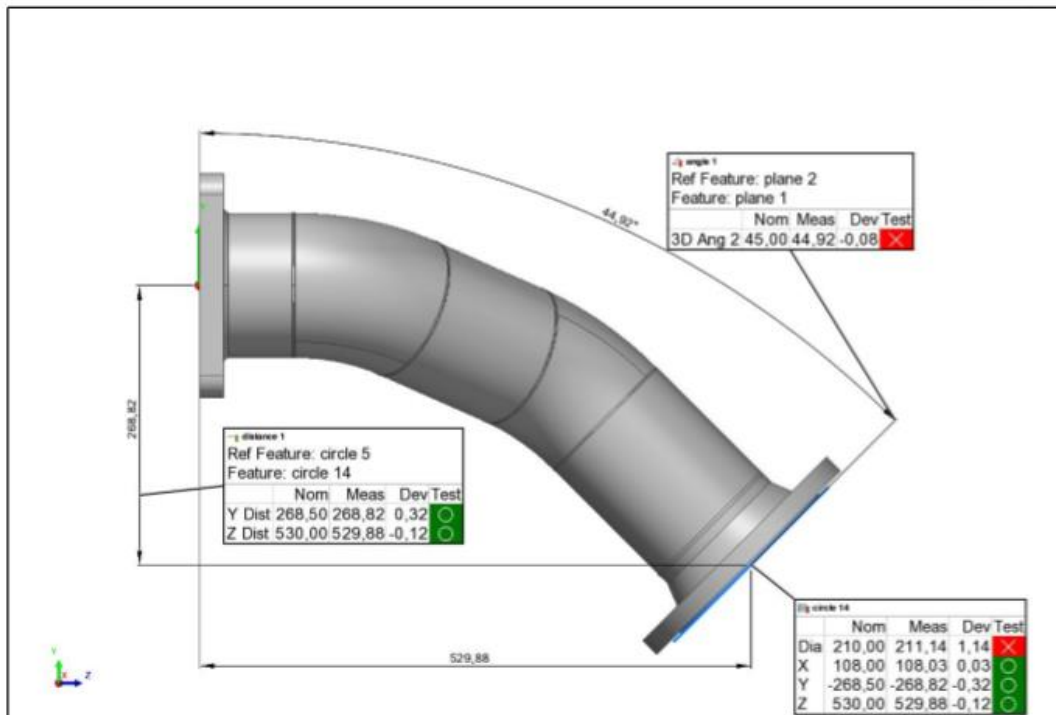
## LÄHTEET

- /1/. Custom Truck Oy internetsivusto. 2020. Viitattu 6.1.2020.  
<http://www.customtruck.fi/yritys/>
- /2/. Finlex internetsivusto. 2020. Viitattu 12.1.2020.  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20061005>
- /3/. Tikka, H. 2007. Koordinaattimittaus. 1. painos. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print. 473s.
- /4/. Jyväskylän ammattikorkeakoulun internetsivusto. 2020. Viitattu 7.1.2020.  
[https://student.labranet.jamk.fi/~palti/3d/36\\_t.html](https://student.labranet.jamk.fi/~palti/3d/36_t.html)
- /5/. Wikipedia internetsivusto. Koordinaatisto. Viitattu 7.1.2020.  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Koordinaatisto>
- /6/. Calame-metrologie internetsivusto. 2020. Viitattu 23.1.2020.  
<http://www.calame-metrologie.ch/en/products/upgrade-sip-300mm.html>
- /7/. Kesseli, A. 3D-digitointi. Theseus internetsivusto. 2020. Viitattu 27.1.2020.  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11532/2006-08-17-23.pdf>
- /8/. GOM internetsivusto. 2020. Viitattu 22.1.2020.  
<https://www.gom.com/metrology-systems/tritop.html>
- /9/. Mikes internetsivusto. 2020. Viitattu 21.1.2020.  
<https://www.mikes.fi/kalibroinnit/optinen-km>
- /10/. GOM internetsivusto. 2020. Viitattu 19.2.2020.  
<https://www.gom.com/metrology-systems/atos/atos-5.html>
- /11/. Metronor internetsivusto. 2020. Viitattu 17.2.2020.  
<https://www.metronor.com/industrial/products/solo/>
- /12/. RPS Metrology internetsivusto. 2020. Viitattu 15.3.2020.  
<http://www.rpsmetrology.com/en/product/evo-xr/>

LIITE 1



<p><b>custom</b> <b>TRUCK</b> WWW.CUSTOMTRUCK.FI</p>	<p>Report Author: Date: 19.2.2020</p>
	
<p><b>Organization:</b> Custom Truck Oy <b>Operator:</b> Eetu-Pekka Teräs <b>E-mail:</b> mittaus@customtruck.fi <b>Workspace:</b> XXX1234567 A <b>Project:</b> TEST</p>	<p><b>Part name:</b> OIL PIPE <b>Part number:</b> XXX1234567 <b>Drawing #:</b> XXX1234567 A <b>Serial #:</b> 001 <b>Device:</b> RPS EVO-XR 7</p>



### Control View

Control View Name: control view 1  
 Units: Millimeters  
 Coordinate Systems: csys 1  
 Data Alignments: plane, axis, center point  
 All Statistics: Total: 7, Measured: 7 (100,000%), Pass: 5 (71,429%), Fail: 2 (28,571%), Warning: 0 (0,000%)

Char No.	Object Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
	circle 14	Diameter	210,000	211,136	±1,000	1,136	Fail	0,136
	circle 14	X	108,000	108,027	±1,000	0,027	Pass	
	circle 14	Y	-268,496	-268,818	±1,000	-0,322	Pass	
	circle 14	Z	530,000	529,875	±1,000	-0,125	Pass	
	distance 1	Y Distance	268,496	268,818	±1,000	0,322	Pass	
	distance 1	Z Distance	530,000	529,875	±1,000	-0,125	Pass	
	angle 1	3D Angle 2	45,000	44,919	±0,060	-0,081	Fail	-0,021

Organization: Custom Truck Oy	Part name: OIL PIPE
Operator: Eetu-Pekka Teräs	Part number: XXX1234567
E-mail: mittaus@customtruck.fi	Piece: piece 2

